

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

LIBEREC 2011

MARTIN MATYÁŠ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: B3107 Textil

Studijní obor: 3107R007 Textilní marketing

ANTISTATICKÉ TKANINY PRO ČISTÉ PROSTŘEDÍ

ANTISTATIC FABRICS FOR CLEANROOMS

Martin Matyáš

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Brigita Kolčavová-Sírková PhD.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Miroslava Maršálková PhD.

Rozsah práce:

Počet stran textu 12

Počet obrázků 21

Počet tabulek 12

Počet grafů 2

Počet stran příloh 4

Zadání

1. Vypracujte rešerši na uvedené téma. Klasifikujte antistatická vlákna, tkaniny používané pro čisté prostory.
2. Proved'te základní rozbor a charakteristiku struktury antistatických tkanin pro čisté prostory.
3. Realizujte měření a následně vyhodno'te vlastnosti antistatických tkanin pro čisté prostory.

P r o h l á š e n í

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním bakalářské práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 10. 5. 2011

Podpis.....

PODĚKOVÁNÍ

Touto formou bych rád poděkoval Ing. Brigitě Kolčavové-Sirkové za její čas, cenné rady a informace, jež mi poskytovala a také za její trpělivost.

Poděkování dále patří Ing. Miroslavě Maršálkové PhD. za vedení během měření rezistivity a zaměstnancům laboratoře KTT za jejich pomoc a rady během tvorby řezů a pořizování snímků.

V neposlední řadě chci poděkovat svojí rodině, bez jejíž podpory bych studium zvládal velmi těžko.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí tkanin používaných v čistých prostorách a jejich vlastnostmi. Práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou.

Teoretická část se zabývá základními parametry tkanin, klasifikací čistých prostor, požadavky na používané tkaniny a obleky, dále vznikem statické elektřiny a klasifikací používaných antistatických vláken.

Praktická část je věnována rozboru struktury antistatické tkaniny na základě zvětšených příčných řezů tkaninou zvětšených snímků jejího povrchu a dále měření elektrického odporu antistatických tkanin s proměnnými parametry struktury a jejich vyhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA:

antistatická tkanina, struktura antistatické tkaniny, rezistivita, antistatická vlákna

ANNOTATION

This thesis deals with the construction of fabrics used in cleanrooms and their properties. The thesis is divided into theoretical and practical part.

Theoretical part deals with the basic parameters of fabrics, classification of cleanrooms, basic requirements for the use of fabric and garments, the creation of static electricity and classifications of used antistatic fibers.

Practical part is devoted to analyzing the structure of anti-static cloth via enlarged cross-sections of tissue through enlarged images of the surface and measuring the electrical resistance of antistatic fabric with variable structure parameters and their evaluation.

KEY WORDS: antistatic fabric, antistatic fabric structure, resistivity, antistatic fibers

OBSAH

Úvod.....	10
1. Tkanina	11
1.1 Vazba tkaniny	12
1.1.1 Plátňová vazba	12
1.1.2 Keprová vazba	13
1.1.3 Atlasová vazba	14
2. Základní parametry tkaniny	14
2.1 Jemnost příze	14
2.2 Dostava nití ve tkanině	15
2.4 Setkání nití ve tkanině	15
2.5 Tloušťka tkaniny	16
2.6 Flotáž nití ve tkanině	16
3. Čisté prostory	17
3.2 Člověk jako zdroj nečistot	18
4. Oděvy pro čisté prostory	18
4.1 Konstrukce oděvů pro čisté prostory	18
4.2 Netkané textilie	20
4.3 Používané švy	20
5. Statická elektřina.....	21
5.1 Statická elektřina a atomy	21
5.2 Vodiče a izolanty	22
5.3 Proces tvorby statické elektřiny.....	22
6. Možnosti eliminace statické elektřiny	23
7. Antistatická vlákna.....	24

7.1 Antistatická vlákna obsahující kovy a jejich soli	24
7.2 Vlákna z vodivých polymerů.....	25
7.3 Vlákna s obsahem uhlíku	25
8. Antistatické vlastnosti materiálů	25
9. Použitý materiál	28
9.1 Plán experimentu	29
9.2 Získání snímků příčných řezů a povrchu tkaniny	30
10. Měření rezistivity	33
Diskuse	37
Závěr	39
Seznam použité literatury.....	40
Seznam obrázků.....	41
Seznam příloh	42

Seznam použitých zkratk a symbolů

PAD	Polyamid
PES	Polyester
PAN	Polyakrylnitril
POP	Polypropylen
ESD	Electrostatic discharge
AV	Antistatické vlákno

ÚVOD

V šedesátých letech dvacátého století došlo v USA k velkému rozmachu výroby v takzvaných čistých prostorách. Jednalo se o prostory, které byly náročné na čistotu prostředí a vznikaly zejména pro montáž a výrobu komponent pro letectví a kosmonautiku, zažívajících v té době obrovský boom. Postupně se čisté prostory rozšířily po celém světě a v dnešní době jsou využívány v mnoha odvětvích průmyslu i výzkumu. Zejména v mikroelektronice je v čistých prostorách kromě znečištění dalším nežádoucím faktorem i vznik statické elektřiny. Statická elektřina, často nazývána neviditelným nepřítelem výroby, je fenoménem téměř všech odvětví lehkého i těžkého průmyslu a škody, které jí lze každoročně připsat jdou do miliard dolarů.

K omezení vzniku těchto dvou nežádoucích elementů je třeba použití speciálních oděvů, které má v čistých prostorách personál na sobě. Pro tyto oděvy platí přísná kritéria, která musí z hlediska použití v čistých prostorách splňovat.

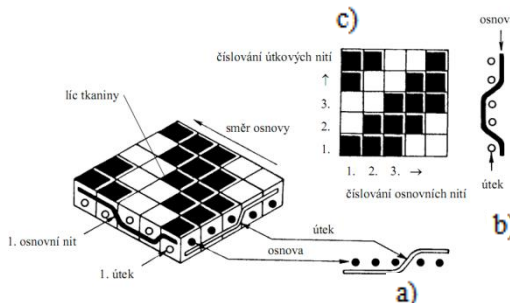
Tato bakalářská práce má za cíl zjistit konstrukci a základní parametry tkaniny pro tyto čisté prostory a vyhodnotit vliv použití antistatických vláken v tkanině na její antistatické vlastnosti.

REŠERŠNÍ ČÁST

Rešeršní část této práce se zabývá obecnou charakteristikou a parametry tkanin používaných v čistých prostorách, klasifikací čistých prostor samotných, dále vznikem elektrického náboje, možnostmi jeho eliminace a antistatických vláken k tomuto účelu používaných.

1. Tkanina

Tkanina je plošná textilie, skládající se z jedné nebo více soustav podélných (osnovních) nití a jedné nebo více soustav nití příčných (útkových), provázaných vzájemně v kolmém směru vazbou. Vazba tkaniny se znázorňuje na tzv. vzornici, ze které je čitelný vzor tkaniny a její provázání. Obvykle se zakresluje na čtverečkový papír jako sled černých a bílých bodů vycházejících z polohy osnovních nití vůči střední rovině tkaniny, kdy osnovní a útkové nitě jsou číslovány zleva doprava resp. zespoda nahoru. [15] [9]



a) Příčný řez; b) Podélný řez ; c) Záznam vazby tkaniny

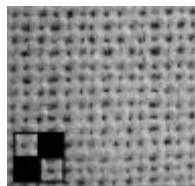
Obr.1 Struktura tkaniny [1]

1.1 Vazba tkaniny

Vazba tkaniny ovlivňuje nejen vlastní stavbu tkaniny, ale i její další užité vlastnosti, jako pevnost, tažnost, ohebnost, omak aj. Volba vazby při projektování tkaniny je jeden z klíčových faktorů ovlivňujících její výsledné vlastnosti. Část, která se na ploše tkaniny pravidelně, vyjma okrajů tkaniny opakuje, se nazývá střída vazby. [9]

1.1.1 Plátnová vazba

Plátnové vazby (obr. 1) jsou ze všech vazeb tkanin nejhustěji provazující a nejpevnější vazbou. Samotné plátno má střidu složenou ze dvou nití osnovních a dvou nití útkových. Díky tomu je tato vazba náchylná na nepřesnosti při tkacím procesu a nejednotnou tloušťku nití, která se projeví zhoršenou kvalitou výsledné tkaniny. [7] [14]



Obr. 2 Zvětšená plátnová vazba a její zakreslení [1]

Pro zjednodušení a úsporu času se v praxi kromě zakreslování vazeb na čtverečkováný papír používá především symbolický zápis, který má pro plátnovou vazbu následující podobu:

$$P \quad \frac{N_o}{N_u}$$

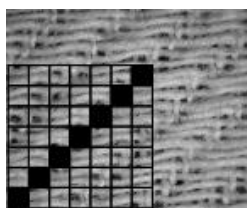
kde: **P**.....označení pro plátnovou vazbu

N_o.....počet osnovních bodů

N_u.....počet útkových bodů

1.1.2 Keprová vazba

Keprová vazba je charakteristická svým diagonálním (úhlopříčným) řádkováním buď levého, nebo pravého směru. Rozlišují se kepry osnovní a útkové podle převládajících osnovních nebo útkových vazných bodů. Podle počtu nití ve střídě se určuje kolikavazný kepr je, nejmenší kepr je třívazný, tedy se střídou 3x3. Používá se například na flanel nebo pracovní oděvy, z nichž nejznámější je džínovina, která byla díky své odolnosti vůči mechanickému opotřebení původně vyráběná jako pracovní oděv. [13]



Obr. 3 Zvětšená keprová vazba [1]

Oproti plátnu je v symbolickém zápisu navíc ještě udán směr řádkování pravého nebo levého směru diagonály. Symbolický zápis pro kepr je následující:

$$K \frac{N_o}{N_u} Z (S)$$

kde: K.....označení pro keprovou vazbu

N_opočet osnovních vazných bodů

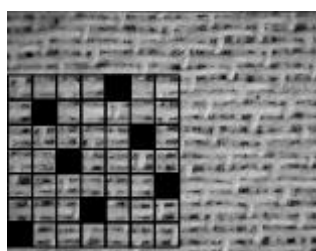
N_upočet útkových vazných bodů

Z (S).....označení pravého resp. levého směru řádkování

Pozn. Písmena Z a S lze nahradit šipkami \rightarrow resp. \leftarrow [1]

1.1.3 Atlasová vazba

Atlasové vazby (obr.4) jsou buď osnovní, nebo útkové a vytvářejí na tkanině lehce šikmé řádkování. Ve střídě jsou její vazné body pravidelně rozloženy a nesmí se navzájem dotýkat, tzn., že u osnovního atlasu se nedotýkají osnovní vazné body a naopak. [1]



Obr. 4 Zvětšená atlasová vazba [1]

2. Základní parametry tkaniny

2.1 Jemnost příze

Jemnost vyjadřuje poměr mezi hmotností a délkou příze. Z fyzikálního hlediska se potom jedná o délkovou hmotnost příze. Její jednotkou je tex. [10]

$$T [\text{tex}] = \frac{m [\text{g}]}{l [\text{km}]}, \quad (1)$$

kde: T jemnost v texech
m hmotnost příze v
l délka příze v km

2.2 Dostava nití ve tkanině

Dostavou tkaniny se rozumí počet nití na jednotku délky, obvykle 100 milimetrů.

Definuje se zvlášť pro osnovní a útkovou soustavu nití s označením:

$$D_o \text{ [počet nití/100mm]}$$

$$D_u \text{ [počet nití/100mm]} \quad [10]$$

2.4 Setkání nití ve tkanině

Setkání vyjadřuje vliv provázání nití ve tkanině na procentuální zkrácení jejich původní délky. Definuje se zvlášť pro osnovu (s_o) i útek (s_u) podle vztahu:

$$s_o = \frac{L_o - L_{vztk}}{L_{vztk}} \cdot 100 \text{ ,}$$

$$s_u = \frac{L_u - \check{S}_{vztk}}{\check{S}_{vztk}} \cdot 100 \text{ ,} \quad (2), (3)$$

kde:

s_o [%]..... setkání osnovy

s_u [%]..... setkání útku

L_o [mm]..... délka osnovní nitě vytažené z tkaniny

L_u [mm]..... délka útkové nitě vytažené z tkaniny

L_{vztk} [mm] délka vzorku tkaniny po osnově

\check{S}_{vztk} [mm]..... šířka vzorku tkaniny po směru útku

2.5 Tloušťka tkaniny

Tloušťka tkaniny představuje dle normy ISO 5084 vzdálenost mezi horní a spodní stranou textlie resp. deskami dané plochy, na které působí přtlak maximálně 1kPa. [10]

2.6 Flotáž nití ve tkanině

Flotáž lze definovat pouze u neplátnových vazeb. Jedná se o neprovazující volně ležící úsek nitě, čímž lze dosáhnout větších dostav než u plátna. Pro vyjádření maximální a skutečné čtvercové dostavy platí vztahy:

$$D_{ct\ max}[pn/100mm] = D_{ct\ max}.f^m, \quad (4)$$

kde: fstupeň provázání tkaniny

mvazební exponent, vystihující podsouvání nití pod sebe ve volných vazbách

Dosažení co největší dostavy je pro tkaniny používané v čistých prostorách je jedna z klíčových vlastností tkaniny pro její co nejlepší bariérový efekt. [10]

Tab. 1 Vazební exponenty jednotlivých vazeb [10]

vazba ve tkanině	vazební exponent „m“
panama	0,45
ryps příčný	0,42
ryps příčný vzor	0,37
ryps podélný	0,35
ryps podélný vzor.	0,31
kepr	0,39
malé vazeb figury	0,42
krepy	0,42
atlas	0,42

3. Čisté prostory

Čisté prostory jsou prostory, kde je řízeno množství poletujících částic a které jsou zkonstruovány a využívány způsobem, který minimalizuje usazování, tvorbu a zadržování částic, uvnitř kterých jsou v případě nutnosti, řízeny další faktory jako tlak, vlhkost, teplota aj. [17]

Částicemi se rozumí je prach, mikrobi, aerosoly a chemické výpary. Pro co největší účinnost je množství těchto nečistot regulováno množstvím a velikostí částic v mikrometrech připadajících na krychlový metr vzduchu. U většiny čistých prostor je vyžadována i minimalizace vzniku statické elektřiny.

Čisté prostory jsou využívány zejména v oblastech montáže elektrosoučástek, farmaceutickém průmyslu, oblasti biotechnologie, letectví, kosmonautiky a potravinářství. [18]

3.1 Klasifikace čistých prostor

Čisté prostory jsou klasifikovány do tříd podle povoleného množství a velikosti částic v krychlovém metru vzduchu. V Evropě nejvíc aplikovaná norma ISO 14644-1 má celkem 9 stupňů velikosti a množství částic v krychlovém metru vzduchu. [17] [16]

Tab. 2 Povolené koncentrace a velikosti částic dle normy ISO 14644-1 [17]

Třída	Maximální množství částic/m ³					
	≥0.1 μm	≥0.2 μm	≥0.3 μm	≥0.5 μm	≥1 μm	≥5 μm
ISO 1	10	2				
ISO 2	100	24	10	4		
ISO 3	1000	237	102	35	8	
ISO 4	10000	2370	1020	352	83	
ISO 5	100000	23700	10200	3520	832	29
ISO 6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
ISO 7				352000	83200	2930
ISO 8				3520000	832000	29300
ISO 9				35200000	8320000	293000

3.2 Člověk jako zdroj nečistot

Pro čisté prostory je člověk hojným zdrojem kontaminace všeho druhu. Prach, chemické a organické aerosoly, odumřelé šupinky kůže a vlasů, tuky, to vše lidské tělo uvolňuje. Navíc na lidské kůži ulpívají vlákna a prach z oblečení, co na sobě běžně nosí, bakterie, plísňe a kosmetika. Experimenty dokázaly, že například šupinek odumřelé kůže odpadne průměrně člověku ročně okolo dvou kilogramů, přičemž nejmenší z nich mají velikost okolo 5 μm . [21]

4. Oděvy pro čisté prostory

Ochranné oděvy hrají v čistých prostorách rozhodující roli při zamezení znečištění prostředí. Oděvy musí být navrženy tak, aby sloužily jako perfektně fungující bariéra a samy nebyly zdrojem úletu částic.

Hlavní požadované vlastnosti pro tyto textilie jsou:

- ✓ filtrační schopnosti
- ✓ schopnost uvolňování nahromaděných částic
- ✓ odolnost vůči chemikáliím během praní a sterilizaci
- ✓ schopnost tepelné výměny mezi povrchem těla a okolím
- ✓ průchodnost pro páry a plyny

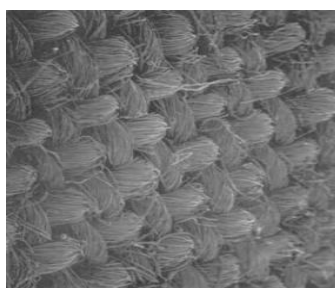
Samozřejmě záleží na tom, pro jaký stupeň čistoty prostor se bude oděv využívat, nicméně platí univerzální pravidla, která by měl oděv splňovat, a sice jednoduchost (minimum švů, záhybů, kapes atd.) a komfort při nošení, vzhledem k tomu, že v něm člověk většinou tráví mnoho hodin. [2] [20]

4.1 Konstrukce oděvů pro čisté prostory

Všechny oděvy pro čisté prostory včetně jejich součástí, musí být pro jejich používání zkonstruovány tak, aby způsobily co nejmenší úlet částic. Stejně tak musí tyto

podmínky kromě textilní části oděvů splňovat i jejich další komponenty jako zipy, nášivky, štítky, poutka atd. [20]

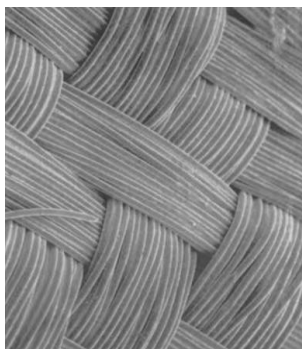
Pro nejnižší prostory s nejnižšími požadavky na úlet částic jsou používány i z přírodních vláken. Tyto tkaniny jsou většinou vyrobeny z bavlny nebo její směsi s polyesterem. Bavlněná nit je tvořena bavlněnými vlákny, která jsou krátká a mají tendenci se ulamovat a drolit, čímž vzniká prach. Tyto textilie jsou tedy vhodné pro prostory s nejnižšími požadavky na úlet částic (obr. 5). [20]



Obr. 5 Zvětšená tkanina z příze bavlna/polyester [20]

Drtivá většina oděvů pro čisté prostory je vyrobena ze syntetických vláken. Zásadním faktorem pro jejich výrobu je správná volba vláken a materiálu pro nitě, ze kterých jsou vyrobeny. Oděvy musí odolat opakovanému praní a sterilizaci, při zachování stejných vlastností. Aby se co nejvíce zamezilo odletu částic, jsou vyrobeny z nekonečných multifilů. Během tkacího procesu vznikají ve tkanině póry, které multifily dokážou vyplnit a zlepšit tak bariérový efekt tkaniny, na druhou stranu neposkytují tak velký komfort při nošení.

V převážné většině jsou oděvy pro čisté prostory utkány plátňovou a keprovou vazbou. Keprové tkaniny a tkaniny s lomeným keprem poskytují lepší filtrační schopnosti, než tkaniny s plátňovou vazbou. Na druhou stranu plátno poskytuje díky své menší plošné hmotnosti větší komfort při nošení. [20]



Obr. 6 Zvětšená tkanina z nekonečného syntetického multifilu [20]

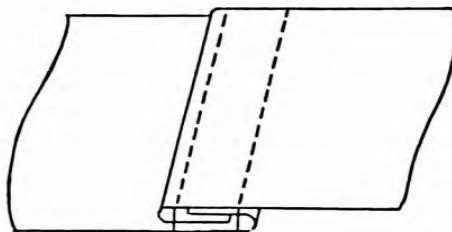
Tkaniny ze syntetických nekonečných vláken poskytují omezenou tvorbu textilního prachu do té doby, než se jedno vlákno v přízi opotřebením, obroušením nebo narušením chemikálií přetrhne a stává se tak potenciálním zdrojem kontaminace. Proto mají obleky z těchto tkanin omezený počet cyklů, po nichž jsou vyřazeny. [20]

4.2 Netkané textilie

Netkané textilie obecně poskytují lepší bariérový efekt než tkaniny, nicméně jejich největší nevýhodou je sklon k oděru a následnému úletu částic, proto je jejich použití v prostorách s nejvyšším stupněm čistoty nežádoucí. [20]

4.3 Používané švy

Stejně jako je důležitý materiál a konstrukce tkaniny pro čisté prostory, je důležitý i typ a materiál nití, kterými jsou oděvy sešity. Velkou roli hrají i použité švy, jakožto potenciální slabiny bariérového efektu. Níť by měla být z nekonečného multifilu stejného materiálu, z jakého je vyrobena tkanina. Tkaniny mají tendenci se na okrajích třepit a tím dát vzniknout zdroji potenciální kontaminace. Okraje tedy musí být přeloženy, aby byly vytřepené nitě uzavřeny uvnitř švu. [20]



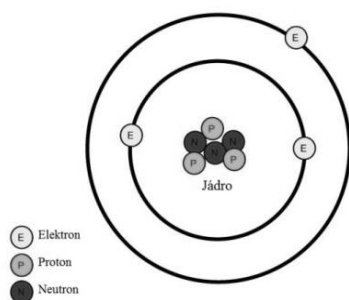
Obr. 7 Detail používaného švu [20]

5. Statická elektřina

Statická elektřina je fenoménem, který se objevuje jak v průmyslu, tak i v běžném životě. Velmi často si jí člověk ani nevšimne, ale v průmyslu vede ke vzniku škod a nebezpečím jako je vznícení, šok a následný pád atd. Elektrostatický výboj (ESD) je nejčastějším zdrojem poškození elektronických součástek. [2] [11] [12]

5.1 Statická elektřina a atomy

Atom se skládá z kladně nabitých protonů a neutrálních neutronů, které společně tvoří jádro atomu, a záporně nabitých elektronů, které tvoří jeho obal. Zatímco protony a neutrony v jádře jsou k sobě velmi silně přitahovány a složení jádra se obvykle nemění, elektrony v obalu jsou k jádru přitahovány relativně malou silou a můžou mezi atomy migrovat. [5] [3]



Obr. 8 Zjednodušený model atomu [6]

5.2 Vodiče a izolanty

Látky, jejichž atomy mají elektrony schopné snadno migrovat a tak transportovat energii se nazývají vodiče. Takové vlastnosti má například většina kovů. Některé látky si ale svoje elektrony drží velmi pevně a ty nemají (nebo mají velmi malou) možnost mezi atomy migrovat. Takové látky nazýváme izolanty. Některé izolanty jsou ale schopny si elektrony například při vzájemném kontaktu nebo tření předávat.

Materiály, jejichž elektrony jsou jen slabě vázány, mají tendenci je ztrácet, zatímco materiály, jejichž jádra jsou elektrony jen řídko obalena, mají naopak tendenci je získávat. Tento jev se nazývá triboelektrický efekt. Statickou elektřinu lze tedy zjednodušeně definovat jako nerovnováhu kladného a záporného náboje. [6] [13]

5.3 Proces tvorby statické elektřiny

Proces tvorby statické elektřiny lze rozdělit do tří fází:

- kontaktem dvou povrchů dojde k pohybu elektrického náboje nahromaděním přebytku elektronů na jednom povrchu;
- na kontaktním mezipovrchu vznikne elektrická dvojvrstva, ale díky kontaktu obou povrchů se celý systém jeví jako neutrální;
- v poslední fázi mechanického oddělení obou povrchů vzniká statická elektřina, přičemž si každý z povrchů uchová získaný, kladný nebo záporný, náboj.

Pokud je izolant nabitý dostatečně velkým nábojem, dojde při styku nebo velmi těsném přiblížení k vodiči k jeho rychlému vybití v podobě přeskočení jiskry. Právě tento jev, anglicky nazývaný „electrostatic discharge“ (ESD) vede při výrobě a montáži elektrosoučástek k největším škodám. [13] [19]

6. Možnosti eliminace statické elektřiny

Pro snížení elektrického náboje a tím omezení rizika vzniku ESD existuje mnoho způsobů, z nichž některé jsou například pro prostory pro manipulaci s mikroelektronikou předem vyloučeny.

- ionizace vzduchu
- uzemnění vodivých částí
- zvýšení vlhkosti vzduchu
- ošetření povrchů antistatickým prostředkem
- uzemnění pracovníků pomocí náramků napojených na uzemněný kabel zvaných „wrist strap“
- použití obleků s antistatickými vlákny

Při antistatické úpravě obleků je předem vyloučeno i ošetření antistatickými prostředky, které by mohly při používání obleku odpadávat. Jako nejlepší řešení se v tomto případě nabízí použití obleků s antistatickými vlákny, ve kterých je z antistatických vláken vytkána mřížka. Vzhledem k tomu, že k výrobě oděvů je nejčastěji používán polyester, který má vysoký elektrický odpor a funguje jako izolátor, by se ze zaměstnanců používajících polyesterové oděvy bez příměsi antistatických vláken staly chodící generátory elektrostatického náboje. [2] [4] [12] [21]



Obr. 9 Tkanina s vetkaným antistatickým vláknem [21]

7. Antistatická vlákna

V současnosti bylo vyvinuto mnoho druhů speciálních antistatických vláken, která mohou být použity buď samostatně k výrobě požadované textilie, nebo jako přídavek k běžným vláknům. Drtivou většinu takto upravených vláken a z nich vyráběných textilií tvoří vlákna syntetická. V současnosti jsou na trhu dva strukturně odlišné typy těchto vláken, kdy je vodivá složka umístěna buď uvnitř, nebo vně vlákna. V některých případech je vodivá složka částečně v povrchu i jádru vlákna. Bikomponentní vlákna existují ve dvou základních typech: typ side by side (bok po boku) nebo core-sheath (jádro - plášť). Vlákna typu side by side vznikají při zvlákňování spojením dvou (případně i více) proudů taveniny ve zvlákňovací trysce. Typ core-sheath je vyráběn pomocí speciální trysky, která umožňuje obklopení jednoho, proudu taveniny druhým. Dnešní technologie umožňuje těmito způsoby i výrobu vícekomponentních vláken. [2] [13]



a) vlákna s vodivým povrchem (side by side); b) vlákna s vodivým jádrem (core-sheath)

Obr. 10 Příčné řezy různými typy antistatických vláken [2]

7.1 Antistatická vlákna obsahující kovy a jejich soli

Vodivost antistatických vláken obsahujících kovy je založena buď na nitech z nerezavějící oceli, kovových příměsích, oxidech kovů nebo jejich solích. Způsob výroby vláken s obsahem kovových solí spočívá v chemickém navázání solí na povrchovou vrstvu vlákna. Nejpoužívanějšími prostředky jsou sulfidy mědi a niklu. [2]

7.2 Vlákná z vodivých polymerů

Použití vláken z vodivých polymerů není v současnosti příliš rozšířeno, nicméně jejich antistatické vlastnosti jsou vynikající. Jejich antistatické vlastnosti zajišťují zvláštní, tzv. „ π -systémy“. V současnosti se z této skupiny vodivých polymerů používá polyanilin, polypyrrol a polythiopen. [2]

7.3 Vlákná s obsahem uhlíku

V počátcích byla uhlíková antistatická vlákna vyráběna obalením běžného vlákna pryskyřicí obsahující vysoký podíl uhlíku. V současnosti jsou vlákna vyráběna buď přidáním uhlíku do taveniny, ze které je poté vlákno připravováno, nebo je uhlík obsažen v jeho jádře či obalu. [2] [11]

8. Antistatické vlastnosti materiálů

Pro posouzení kvality antistatických vláken a tkanin se nejčastěji používá jejich elektrický měrný odpor. Elektrický odpor (resistance) je vlastnost látky bránit průchodu elektrického proudu (odpor vést elektrický proud). Jeho jednotkou je ohm[Ω] definovaný podle Ohmova zákona:

$$R[\Omega] = \frac{U[V]}{I[A]}, \quad (5)$$

kde:

U elektrické napětí
I elektrický proud
R elektrický odpor

Rozlišujeme:

Povrchový elektrický odpor

Povrchový elektrický odpor R_s je odpor materiálu měřený mezi dvěma elektrodami umístěnými na jeho povrchu. [8] [12]

Objemový elektrický odpor

Objemový elektrický odpor R_v je odpor materiálu umístěného mezi dvěma elektrodami (jedna elektroda je umístěna pod vzorkem a druhá leží na jeho povrchu)

Rezistivita

Rezistivita ρ je měrný elektrický odpor vztažený k ploše použitých elektrod, pokud se jedná o povrchovou rezistivitu [Ω] nebo vztažený k ploše elektrod a tloušťce měřeného materiálu, pokud se jedná o objemovou rezistivitu [Ωcm]. [8] [12]

Hodnocení antistatických vlastností

Vyhodnocení antistatických vlastností, resp. rezistivity textilie má šest stupňů od výborného až po nevyhovující. [8] [12]

Tab. 5 Stupnice hodnocení rezistivity

Stupeň	Rezistivita [Ω]
výborný	$10^6 \div 10^7$
velmi dobrý	$10^7 \div 10^8$
dobrý	$10^8 \div 10^9$
průměrný	$10^9 \div 10^{10}$
sotva vyhovující	$10^{10} \div 10^{11}$
nevyhovující	$10^{11} \div 10^{13}$

Vlastnosti PES

Jeden z nejčastěji používaných materiálů pro výrobu oděvů pro čisté prostory je polyester. Pro tento účel je využíván v podobě nekonečných vláken. Mezi jeho hlavní přednosti patří odolnost vůči mechanickému poškození, chemikáliím, nízké nasákavosti

vodních par, nižší mačkavosti oproti například nylonu. Jeho měrný elektrický odpor se při teplotě 25°C je $10^{18} \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$. Jeho zvětšené vlákno je na obrázku 11. [4] [12]



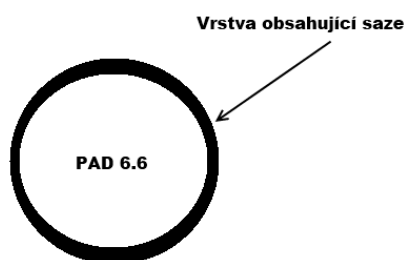
Obr. 11 Zvětšené vlákno polyesteru [4]

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část se skládá ze dvou částí. V první části je proveden základní rozbor použité tkaniny za pomoci makroskopických snímků povrchu tkaniny a příčných řezů tkaninou. Ve druhé části je provedeno měření povrchové a objemové rezistivity a její vyhodnocení.

9. Použitý materiál

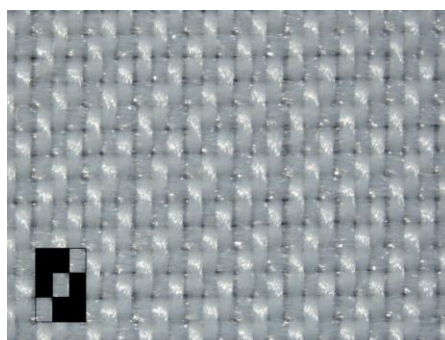
K experimentu byly použity čtyři druhy vzorků tkaniny s antistatickým vláknem zatkaným s variabilní roztečí v útku a osnově. Jednalo se o vzorky z jednoho pásu tkaniny, kde byla antistatická vlákna v osnově před tkaním nasnována tak, aby ve finální tkanině tvořila společně s vláknem v útku požadovaný rastr. Vzorky byly pro přehlednost očíslovány, přičemž vzorek 1 měl antistatické vlákno zatkáno pouze v útku, ve vzorku 2 byl tímto vláknem vytkán čtvercový rastr a vzorky 3 a 4 měly vytkán menší a větší rastr ve tvaru obdélníku. Jako antistatické vlákno bylo použito vlákno Rezistat dodávané na trh firmou BASF, skládající se z polymerové matrice a z vodivé části na povrchu, obsahující uhlík a zajišťující odvod elektrického náboje.



Obr. 12 Řez antistatickým vláknem Rezistat

Tab. 4 Parametry tkaniny společné pro všechny vzorky

Použitý materiál	PES
Nít použitá v osnově	nekonečný multifil (24 fibril)
Nít použitá v útku	nekonečný multifil (36 fibril)
Jemnost osnovní nitě	9,8 tex
Jemnost útkové nitě	16,9 tex
Použitá vazba	třívazný osnovní kepr pravého směru
Setkání osnovy	6%
Setkání útku	2,5%
Tloušťka tkaniny	0,22 mm



Obr. 13 Znáznornění vazby použité ve tkanině

9.1 Plán experimentu

Cílem první části experimentu je získání zvětšeného obrazu příčného řezu tkaninou, dále zvětšených snímků povrchu tkaniny s následným proměřením jejích parametrů.

- Pomocí rotačního mikrotomu vytvořit příčné řezy vzorků tkaniny.
- Řezy nasnímat pomocí mikroskopu a digitální kamery.
- Snímky analyzovat.
- Za použití makroskopu a digitální kamery získat snímky povrchu vzorků.
- Pořízené snímky analyzovat a proměřit.

Cílem druhé části experimentu je měření povrchové a objemové rezistivity vzorků a jeho následné vyhodnocení.

- V podmínkách odpovídajících interní normě 26-401-01/01 provést na každém vzorku 50 měření povrchové a objemové rezistivity.
- Získaná data vyhodnotit.

9.2 Získání snímků příčných řezů a povrchu tkaniny

K získání příčných řezů byla použita pro svou jednoduchost a dobrou kvalitu vzniklých řezů metoda měkkých řezů, kdy je naimpregnovaný proužek tkaniny ve formičce zalit směsí vosku a parafinu. Po ztuhnutí byla vzniklá kostička vyloupnuta, podchlazena v mrazáku a bylo z ní možno pomocí rotačního mikrotomu odřezávat velmi tenké plátky. Z těch byly připraveny preparáty, kde jako roztok sloužil xylen, který vosk rozpustil.

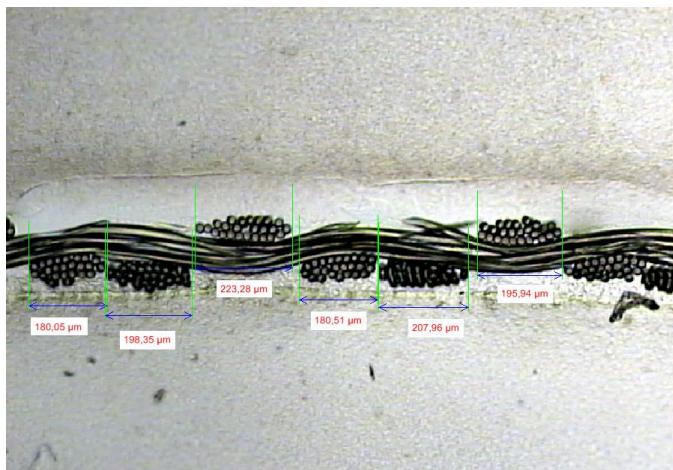


Obr. 14 Rotační mikrotom



Obr.15 Systém obrazové analýzy s mikroskopem

Preparát byl umístěn pod mikroskop s digitální kamerou připojenou k PC a získané snímky analyzovány pomocí softwaru NIS-Elements: Advanced Research. Takto bylo postupováno u všech čtyř vzorků

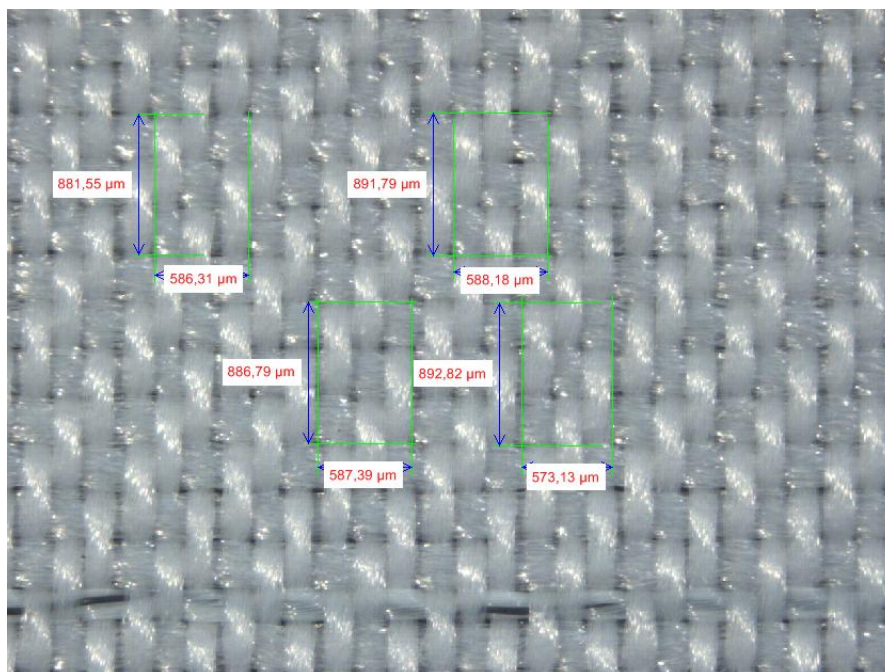


Obr. 16 Zpracování příčných řezů v softwaru Nis- Elements

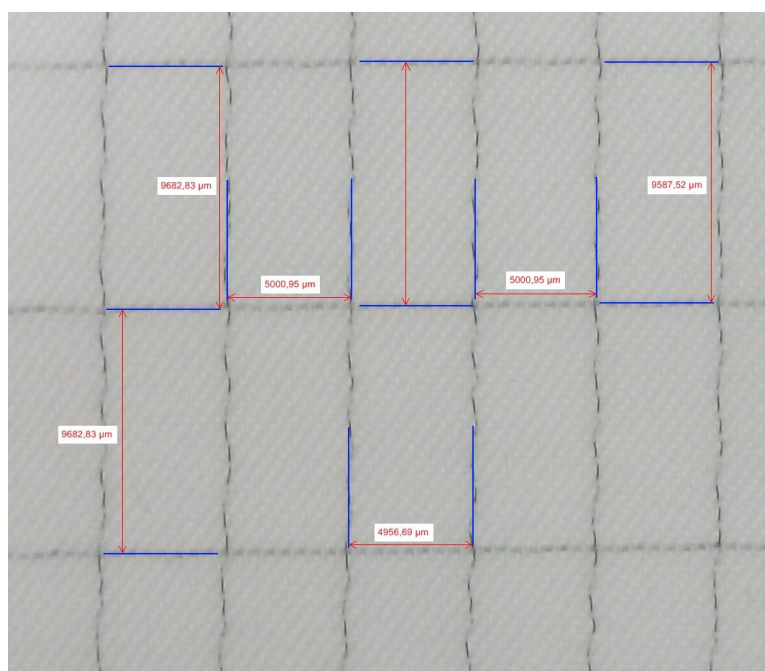
K získání snímků povrchu tkaniny byl použit makroskop s integrovanou digitální kamerou připojenou k PC se softwarem NIS-Elements, tvořících obrazovou analýzu. Tkaninu nebylo k získání snímků třeba nijak předupravovat, pouze byla nasvícena pro lepší kvalitu výsledných snímků. Snímky povrchu tkaniny byly pořízeny ve dvou sadách v různých přiblíženích (obr. 17 a 18), přičemž méně detailní sada (obr. 18) posloužila k záběru celého rastru vytkaného antistatickým vláknem.



Obr. 17 Makroskop



Obr. 17 Zpracování snímků povrchu v programu NIS-elements



Obr. 18 Zpracování snímků vytkaného rastru v programu Nis- Elements

Po zpracování v programu Nis-Elements byly u všech vzorků zjištěny parametry uvedené v následující tabulce.

Tab. 5 Parametry jednotlivých vzorků

	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4
Dostava osnovy	460n/10cm	470n/10cm	480n/10cm	480n/10cm
Dostava útku	343n/10cm	343n/10cm	343n/10cm	343n/10cm
Rozteč antistatických vláken v osnově	neobsahuje	10 mm	15 mm	5 mm
Rozteč antistatických vláken v útku	9,6 mm	9,6 mm	9,6 mm	9,6 mm

Na základě příčných řezů a snímků makroskopických snímků byly dále zjišťovány podrobnější parametry jednotlivých vzorků. Rozdíly byly u jednotlivých vzorků minimální.

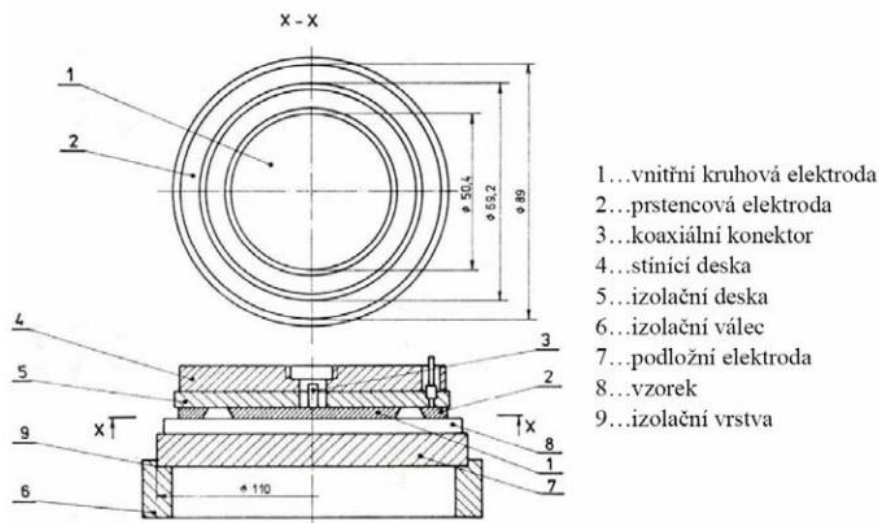
Tab. 6 Rozměry stříd a nití v provázání jednotlivých vzorků

	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4
Průměrná šířka střídy vazby	648,7 μm	649,2 μm	650 μm	648,8 μm
Průměrná výška střídy vazby	890,7 μm	891,4 μm	892,2 μm	892,3 μm
Průměrná šířka osnovní nitě v provázání	200,2 μm	190,2 μm	190,4 μm	193 μm
Průměrná výška osnovní nitě v provázání	66,4 μm	76,2 μm	70,4 μm	68,2 μm
Průměrná šířka útkové nitě v provázání	285,6 μm	290,1 μm	282,4 μm	288,7 μm
Průměrná výška útkové nitě v provázání	112,5 μm	117,4 μm	115,5 μm	118,6 μm

10. Měření rezistivity

Měření rezistivity probíhalo přibližně v podmínkách odpovídajících interní normě 26-401-01/01 při vlhkosti 48% a teplotě 20°C. Vzorky byly před měřením v daném prostředí více jak 24 hodin klimatizovány. K měření objemové rezistivity bylo ještě třeba znát tloušťku tkaniny, která byla zjištěna průměrem z 20 měření na tloušťkoměru.

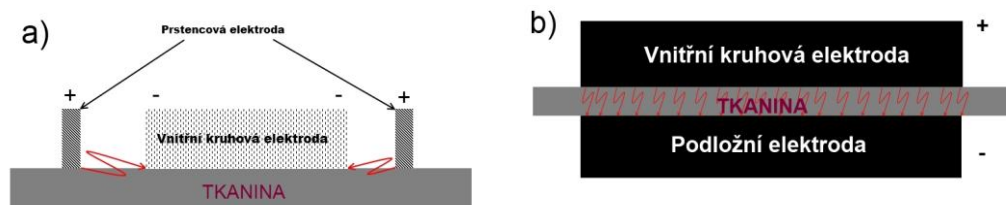
Měření probíhalo za použití přípravku obsahujícího 3 elektrody, připojeného k zařízení Agilent 4339B High-Resistance Meter, na kterém bylo možno odečítat naměřené hodnoty. Všechna měření probíhala kvůli napěťové ochraně při napětí 1 V.



Obr. 19 Schéma tříelektrodevého systému pro měření povrchové a objemové rezistivity plošných textilií

Při měření povrchové rezistivity byly vzorky umístěny rubem na izolační desku a na ni položena vrchní část přípravku, rezistivita tkaniny byla tedy měřena mezi elektrodou vnitřní kruhovou a prstencovou.

Při měření objemové rezistivity byl vzorek umístěn na podložní desku a byla měřena rezistivita mezi podložní elektrodou a elektrodou vnitřní kruhovou. Zařízení Agilent bylo přednastaveno tak, že nebylo třeba znát plochu elektrod a naměřené hodnoty šlo přímo odečítat bez nutnosti přepočítávání. Bylo třeba zadat pouze tloušťku tkaniny, která byla zjištěna měřením na tloušťkoměru.



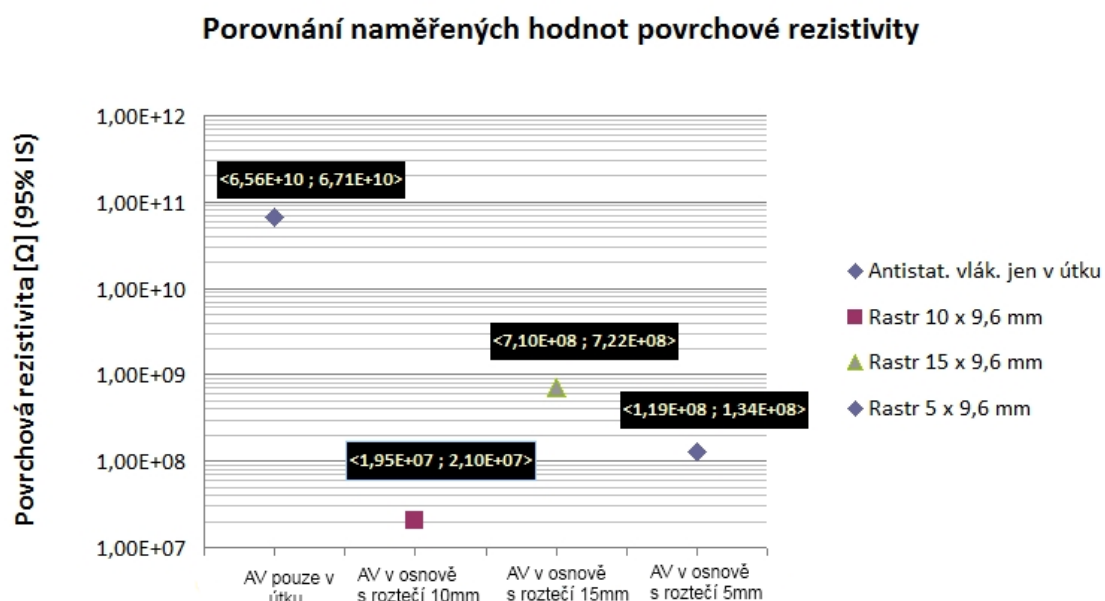
Obr. 20 Schéma umístění elektrod a vzorků při měření a) povrchové rezistivity;
b) objemové rezistivity

Všechny naměřené hodnoty byly před statistickým zpracováním otestovány na homogenitu a nezávislost v programu Minitab. Výsledky byly zpracovány do grafů (obr. 21, 22). Pro velký rozsah dat nebylo v grafech možno zobrazit viditelně rozpětí IS, je proto uveden pouze jako popisek.

Tab. 7 Povrchová rezistivita jednotlivých vzorků

	Antistatické vlákno jen v útku	Rastr 10 x 9,6 mm	Rastr 15 x 9,6 mm	Rastr 5 x 9,6 mm
Průměrná objemová rezistivita	6,6340E+10	2,0266E+07	7,1593E+08	1,2681E+08
Směrodatná odchylka	2,62E+09	2,78E+06	2,11E+07	2,80E+07
Rozptyl	6,84366E+18	7,75519E+12	4,43183E+14	7,82615E+14
Variační koeficient	4%	14%	3%	22%
95% interval spolehlivosti	< 6,56E+10 ; 6,71E+10 >	< 1,95E+07 ; 2,10E+07 >	< 7,10E+08 ; 7,22E+08 >	< 1,19E+08 ; 1,34E+08 >

Graf 1 Povrchová rezistivita vzorků v závislosti na rozteči AV



Podle stupnice hodnocení v tabulce č. 5 byly jednotlivé vzorky ohodnoceny (tab. 8). Nejhuře dopadl vzorek bez AV v osnově, nejlépe vzorek obsahující AV v osnově s roztečí 10 mm.

Tab. 8 Vyhodnocení povrchové rezistivity vzorků

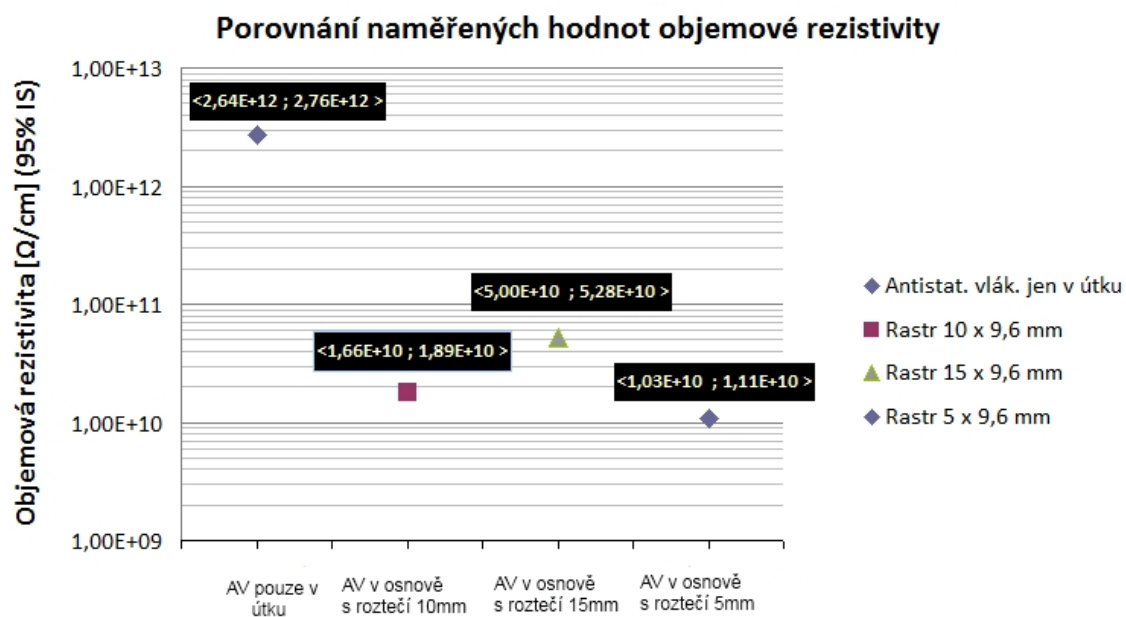
	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4
Hodnocení	sotva vyhovující	velmi dobrý	dobrý	dobrý

Stejně tak byly zpracovány hodnoty objemové rezistivity (tab. 9) a následně vyhodnoceny (tab. 10)

Tab. 9 Objemová rezistivita jednotlivých vzorků

	Antistatické vlákno jen v útku	Rastr 10 x 9,6 mm	Rastr 15 x 9,6 mm	Rastr 5 x 9,6 mm
Průměrná povrchová rezistivita	2,6965E+12	1,7779E+10	5,1383E+10	1,0685E+10
Směrodatná odchylka	2,17E+11	4,26E+09	5,00E+09	1,47E+09
Rozptyl	4,70479E+22	1,8108E+19	2,50428E+19	2,15301E+18
Variační koeficient	8%	24%	10%	14%
95% interval spolehlivosti	< 2,64E+12 ; 2,76E+12 >	< 1,66E+10 ; 1,89E+10 >	< 5,00E+10 ; 5,28E+10 >	< 1,03E+10 ; 1,11E+11 >

Graf 2 Objemová rezistivita vzorků v závislosti na rozteči AV



Stejně jako u povrchové rezistivity byly vzorky ohodnoceny podle stupnice (tab. 10).

Tab. 10 Vyhodnocení povrchové rezistivity vzorků

	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4
Hodnocení	nevyhovující	sotva vyhovující	sotva vyhovující	sotva vyhovující

Vzhledem k tomu, že k měření objemové rezistivity se přistupuje pouze ve sporných případech, větší váhu lze přikládat datům získaným měřením povrchové rezistivity. Vliv zatčení AV v osnově je i přesto patrný (vzorky s AV v osnově o cca dva řády nižší rezistivita).

DISKUSE

Cílem experimentální části bylo zjištění parametrů zkoumané tkaniny a jejich porovnání s parametry, které jsou od těchto tkanin pro čisté prostory požadovány.

Použitý materiál (PES) je dobře odolný vůči mechanickému poškození, odolává chemikáliím, se kterými se dostane do styku během praní a sterilizace. Použití nitě ve formě nekonečného multifilu minimalizuje nebezpečí odletu jednotlivých vláken. Minimální zákrut nitě dovoluje niti resp. fibrilám se dobře rozprostřít, čímž vyplní nebo co nejvíc zmenší póry ve tkanině a také dovoluje dobré vyprání nečistot, které během používání uvíznou uvnitř nití. Kepr jako použitá vazba je odolný vůči mechanickému poškození a jeho flotáž dala nitem obsahujícím AV co největší prostor být vedeny po lici tkaniny a zlepšit tak její antistatické vlastnosti.

Celkově by konstrukce zkoumané tkaniny i tkanina samotná vyhověla z hlediska konstrukce ve všech směrech použití v čistých prostorách.

Měřením rezistivity vyšlo najevo, že klíčovou roli při použití antistatického vlákna, sehrála AV zatkaná v osnově. Oproti vzorku, který obsahoval antistatické vlákno pouze v útku, měly zbývající tři vzorky výslednou rezistivitu o cca dva řády nižší. Vzorek s AV jen v útku byl hodnocen jako „sotva vyhovující“, zatímco nejlépe dopadl s hodnocením „velmi dobrý“ vzorek číslo 2. Stejně tak byl rozdíl patrný u měření rezistivity objemové, kdy vzorek bez AV dopadl jako „nevyhovující“, zatímco zbývající tři vzorky jako „sotva vyhovující“. Vzhledem k tomu, že k měření objemové rezistivity se přistupuje pouze ve sporných případech, směrodatnější jsou v tomto případě výsledky měření povrchové rezistivity, nicméně vliv AV v osnově je patrný v obou případech.

Měřením velikosti stříd a nití v příčných řezech byly zjištěny jen minimální rozdíly v řádech několika mikrometrů, výsledné hodnoty by tedy neměly mít na výslednou rezistivitu významný vliv.

Za předpokladu, že by bylo antistatické vlákno zatkáno nejen v útku, ale i v osnově v jedné ze tří zkoumaných roztečí, ideálně 10 nebo 5 mm, tkanina by splňovala požadavky pro použití v těch čistých prostorách, kde jsou pro obleky požadovány i antistatické vlastnosti.

ZÁVĚR

Experimentální část měla prověřit schopnost zkoumané tkaniny obstát jak z hlediska konstrukce, tak z hlediska antistatických vlastností. Všechny tyto vlastnosti byly úspěšně prověřeny. Z hlediska konstrukce tkaniny i použité příze vyhověly všechny čtyři vzorky, z hlediska antistatických vlastností všechny vzorky s vláknem zatkaným v osnově.

Vzhledem k tomu, že hlavním prostředkem při výrobě v čistých prostorách je člověk, je třeba brát ohledy i na jeho pohodlí. Pro dosažení co nejlepších ochranných vlastností by samozřejmě bylo nejúčinnější vyrábět oděvy pro čisté prostory z folie, která by zaručovala nejlepší bariérový efekt a pro omezení ochrany před elektrostatickým nábojem ji pokrýt například kovovými pásky, ale pro člověka trávícího v tomto obleku často mnoho hodin by se podmínky, které jsou díky řízené teplotě a vlhkosti v čistých prostorách pro práci často samy o sobě úmorné, staly neúnosnými. Textilní obleky díky svým vlastnostem proto jsou a dle mého názoru ještě dlouho budou na tomto poli klíčovým hráčem, a textilní průmysl je v tomto směru nepostradatelný.

Seznam použité literatury

- [1] DOSTALOVÁ, M. Základy textilní a oděvní výroby, Technická universita v Liberci, 2001, (www.skripta.tul.cz)
- [2] DUQUESNE, S. Multifunctional barriers for flexible structure. Berlín: Springer, 2007, ISBN 978-3-540-71917-5
- [3] FENYMAN, R. P. Feynmanovy přednášky za fyziky 1/3, Fragment, 2000, ISBN 80-7200-405-0
- [4] HEARLE, J. W. S. Physical properties of textile fibres. Cambridge: Woodhead Publishing, 2008, ISBN 978-84569-442-5
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Static_electricity
- [6] <http://www.sciencemadesimple.com/static.html>
- [7] CHRPOVÁ, E. Základy tkaní. Liberec: Technická univerzita, 2005. ISBN 80-7372-033-7
- [8] *Interní norma 26-401-01/01: Anizotropie rezistivity textilií*, Výzkumné centrum Textil, Technická universita v Liberci, 2004
- [9] KOLČAVOVÁ SÍRKOVÁ, B. Vybrané partie ze struktury tkanin (www.skripta.tul.cz)
- [10] KOLČAVOVÁ-SÍRKOVÁ, B. Systém projektování “příze – tkanina“. Závěrečná zpráva. Výzkumné centrum Textil, Fakulta textilní, Technická universita v Liberci 2004
- [11] LEGENDRE, A. Uhlíkové Materiály, Praha: Informatorium, 2001, ISBN 80-86073-82-3
- [12] MARŠÁLKOVÁ, M. Antistatické vlastnosti textilií pro čisté prostory. Doktorské studium – seminář, Fakulta textilní, Technická universita v Liberci, 1999
- [13] MILITKÝ, J. *Textilní vlákna klasická a speciální* Liberec: TUL, 2002. ISBN 80-7083-644-X
- [14] MRAŽÍKOVÁ, I. [Vazby tkanin listové : základní, odvozené a složené](#). Liberec: Technická universita, 2002, ISBN 80-7083-627-X
- [15] *Norma ISO 80 021 Názvosloví a charakteristika tkanin*
- [16] *Norma Federal standard 209 E Airborne Particulate Cleanliness in Cleanrooms and cleanzones*
- [17] *Norma [ISO 14644-1](#): Classification of air cleanliness*
- [18] RAMSTORP, M. Introduction to Contamination control and cleanroom technology. Weinheim: Wiley-Vch, 2000. ISBN 3-527-30142-9
- [19] SAVILLE, B. P. Physical testing of textiles. Cambridge: Woodhead Publishing, 2000, ISBN 0-8493-0568-3
- [20] TOLLIVER, D. Handbook of contamination control in microelectronics, Westwood: Noyes Publications, 1988. ISBN-0-8155-1151-5
- [21] WELKER, R. Contamination and ESD control in high – technology manufacturing. New Jersey: Wiley nad Sons, 2006. ISBN 978-0-471-41452-0

Seznam obrázků

Obrázek 1: Struktura tkaniny	11
Obrázek 2: Zvětšená plátňová vazba a její zakreslení	12
Obrázek 3: Zvětšená keprová vazba.....	13
Obrázek 4: Zvětšená atlasová vazba	14
Obrázek 5: Zvětšená tkanina z příze bavlna/polyester	19
Obrázek 6: Zvětšená tkanina z nekonečného syntetického multifilu	20
Obrázek 7: Detail používaného švu.....	21
Obrázek 8: Zjednodušený model atomu	21
Obrázek 9: Tkanina s vetkaným antistatickým vláknem.....	23
Obrázek 10: Příčné řezy různými typy antistatických vláken	24
Obrázek 11: Zvětšené vlákno polyesteru.....	27
Obrázek 12: Řez antistatickým vláknem Rezistat.....	28
Obrázek 13: Znázornění vazby tkaniny.....	29
Obrázek 14: Rotační mikrotom.....	30
Obrázek 15: Systém obrazové analýzy s mikroskopem.....	30
Obrázek 16: Zpracování příčných řezů v softwaru Nis-Elements	31
Obrázek 17: Makroskop	31
Obrázek 18: Zpracovávání snímků povrchu v programu NIS-Elements	32
Obrázek 19: Zpracování snímků vytkaného rastru v programu Nis-Elements.....	32
Obrázek 20: Schéma tříelektrodového systému pro měření rezistivity	31
Obrázek 21: Schéma umístění elektrod a vzorků při měření rezistivity	31

Seznam tabulek

Tabulka 1: Vazební exponenty jednotlivých vazeb	16
Tabulka 2: Povolené koncentrace a velikosti částic dle normy ISO 14644-1.31 ..	17

Tabulka 3: Stupnice hodnocení rezistivity	25
Tabulka 4: Parametry společné pro všechny vzorky	29
Tabulka 5: Parametry jednotlivých vzorků.....	33
Tabulka 6: Rozměry stříd a nití v provázání jednotlivých vzorků.....	33
Tabulka 7: Povrchová rezistivita jednotlivých vzorků.....	35
Tabulka 8: Vyhodnocení povrchové rezistivity vzorků	36
Tabulka 9: Objemová rezistivita jednotlivých vzorků	36
Tabulka 10: Vyhodnocení povrchové rezistivity vzorků	37

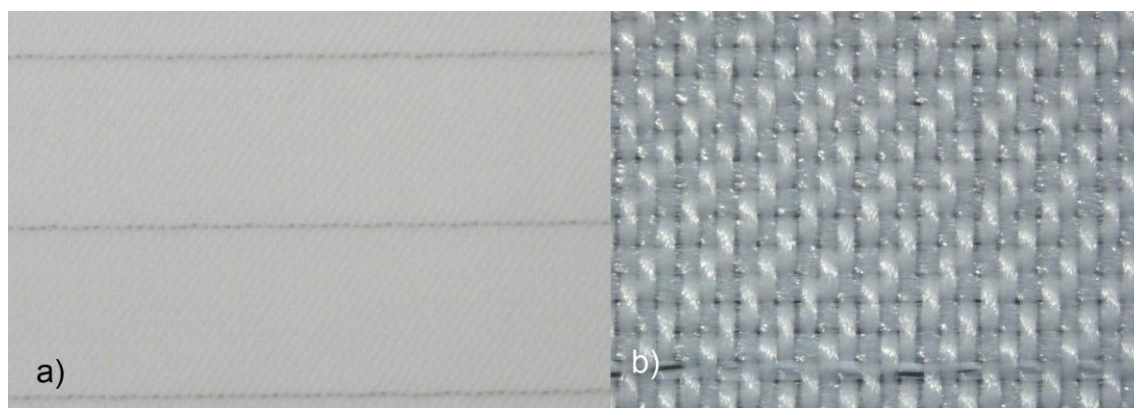
Seznam příloh

Příloha 1: Zvětšený povrch vzorku 1	43
Příloha 2: Zvětšený povrch vzorku 2	43
Příloha 3: Zvětšený povrch vzorku 3	43
Příloha 4: Zvětšený povrch vzorku 4	44
Příloha 5: Příčné řezy vzorkem 1	44
Příloha 6: Příčné řezy vzorkem 2	44
Příloha 7: Příčné řezy vzorkem 3	45
Příloha 8: Příčné řezy vzorkem 4	45
Příloha 9: Vzorky tkaniny.....	46

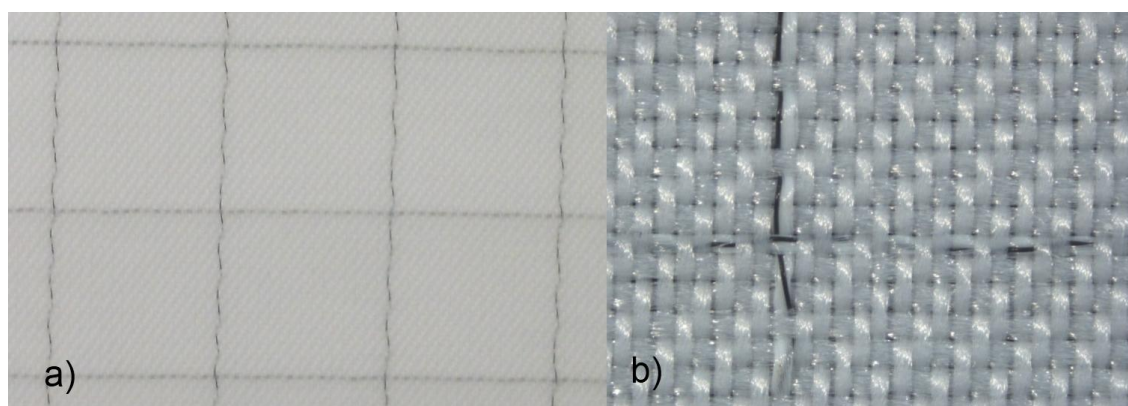
Seznam grafů

Graf 1: Povrchová rezistivita vzorků v závislosti na rozteči AV	35
Graf 2: Objemová rezistivita vzorků v závislosti na rozteči AV	36

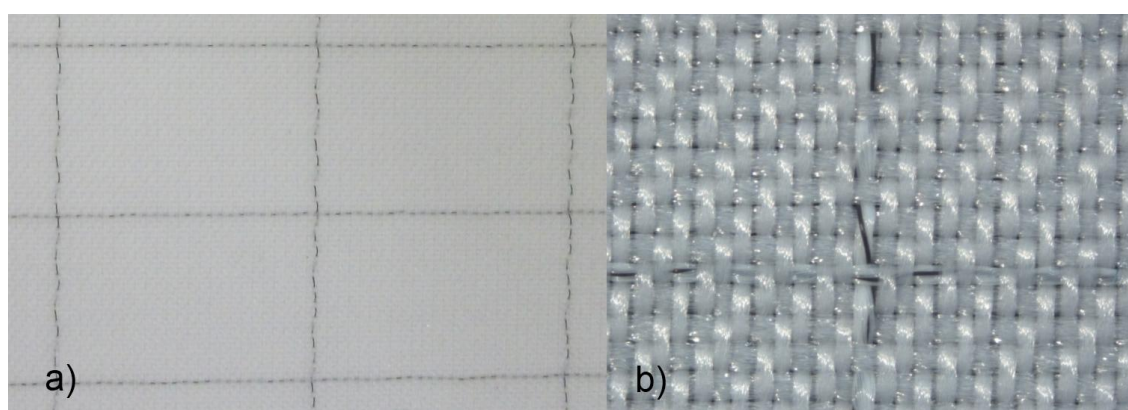
Příloha 1: Zvětšený povrch vzorku 1 a) AV v útku; b) Detail povrchu tkaniny



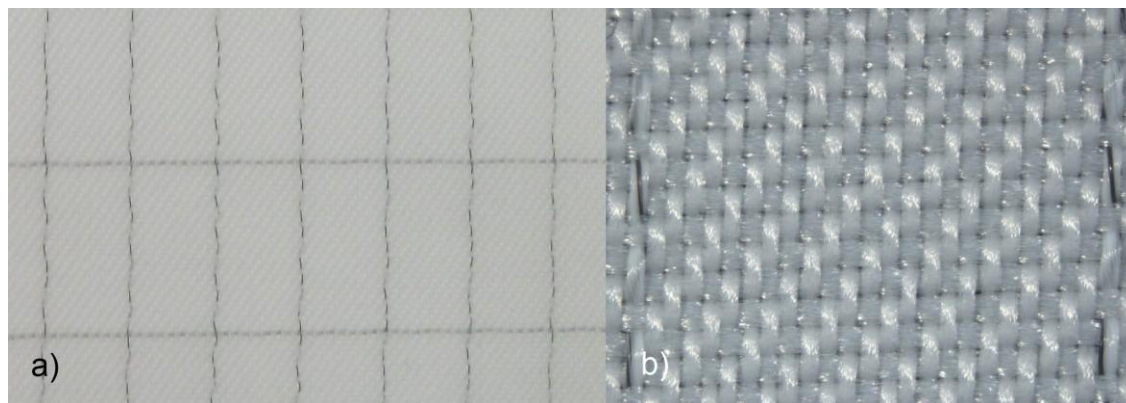
Příloha 2: Zvětšený povrch vzorku 2 a) Rastr vytkaný AV; b) Detail povrchu tkaniny



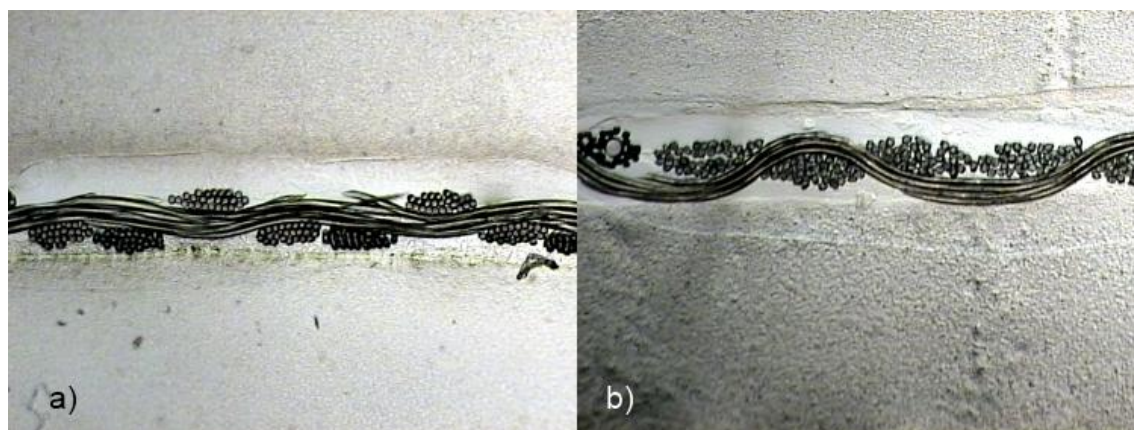
Příloha 3: Zvětšený povrch vzorku 3 a) Rastr vytkaný AV; b) Detail povrchu tkaniny



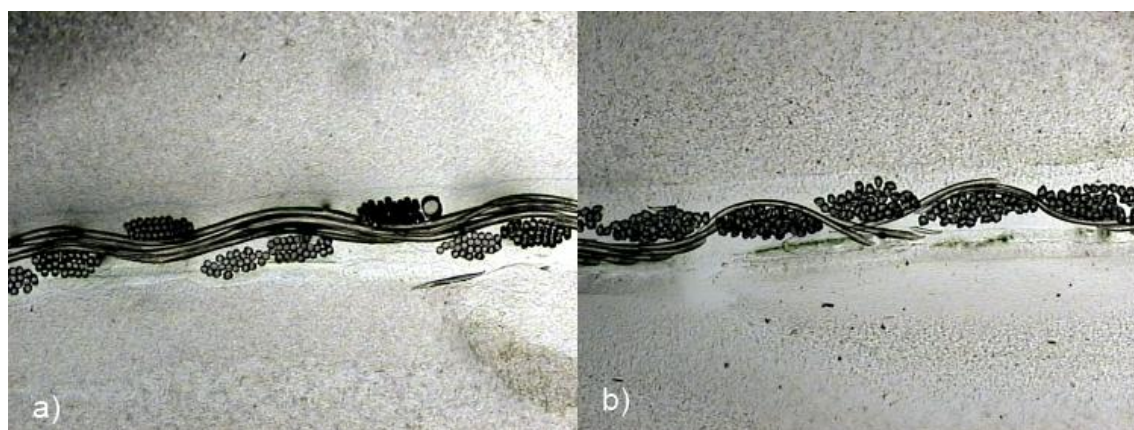
Příloha 4: Zvětšený povrch vzorku 4 a) Rastr vytkaný AV; b) Detail povrchu tkaniny



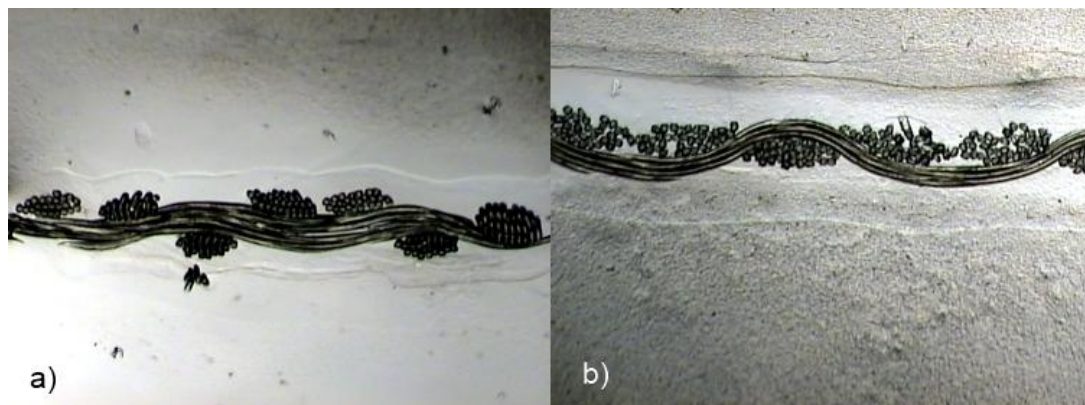
Příloha 5: Příčné řezy vzorkem 1 a) Řez osnovou AV; b) Řez útkem



Příloha 6: Příčné řezy vzorkem 2: a) Řez osnovou AV; b) Řez útkem



Příloha 7: Příčné řezy vzorkem 3: a) Řez osnovou AV; b) Řez útkem



Příloha č. 8 – Příčné řezy vzorkem 4: a) Řez osnovou AV; b) Řez útkem

